



# Mikroplastik: Quellen, Umweltpfade und Wirkungen auf Biodiversität und Ökosystemleistungen

Hintergrundinformationen für das Projekt fassadengrün.org

## 1 Einleitung und Begriffsbestimmung

Mikroplastik bezeichnet feste Kunststoffpartikel mit einer Größe unter 5 Millimetern; unterschieden werden primäre Partikel, die bereits in dieser Größe hergestellt oder verwendet werden, und sekundäre Partikel, die durch Abrieb, Alterung und Fragmentierung größerer Kunststoffprodukte entstehen [1], [4].

Mikroplastik ist als persistentes, medienübergreifendes Umweltproblem zu bewerten, das aus der breiten Nutzung polymerbasierter Materialien, unvollständig geschlossenen Stoffkreisläufen und vielfältigen Eintragspfaden in Gewässer, Böden, Atmosphäre und Organismen resultiert. Besonders relevant ist, dass der Zerfall von Makroplastik in der Umwelt über lange Zeiträume fortlaufend neue Mikroplastikpartikel erzeugt [1].

Der Faktencheck Artenvielfalt ordnet Verschmutzung ausdrücklich als einen direkten Treiber von Biodiversitätsveränderungen ein und benennt Mikroplastik zugleich als Daten- und Monitoringsdefizit, weil Kontaminationen häufig nicht systematisch mit Biodiversitätsdaten gekoppelt erfasst werden [1]. Diese Doppelfunktion – Schadstoff einerseits, Wissenslücke andererseits – ist für regionale Bewertungen entscheidend: Wo Messdaten fehlen, sollte die Planung mit plausiblen Verdachtsräumen und Wirkungspfaden arbeiten, ohne Exposition und Wirkung vorschnell gleichzusetzen.

Die Umweltrelevanz ergibt sich nicht nur aus der Partikelwirkung selbst, sondern auch aus der stofflichen Zusammensetzung und der Wechselwirkung mit anderen Kontaminanten. Kunststoffe enthalten häufig Weichmacher, UV-Stabilisatoren, Flammschutzmittel und Pigmente, die teilweise freigesetzt werden können. Zugleich können Mikroplastikpartikel hydrophobe Schadstoffe adsorbieren und damit als Trägerstoffe für weitere Umweltkontaminanten wirken [1], [4], [17].

Für die räumliche Bewertung hilft eine begriffliche Trennung der Größenklassen. Sie ersetzt keine analytische Definition der jeweiligen Studie, macht aber deutlich, dass unterschiedliche Größenklassen unterschiedlich mobil, bioverfügbar und methodisch nachweisbar sind.

Kategorie	Größe	Entstehung	Beispiele
Makroplastik	> 25 mm	sichtbarer Kunststoffabfall	PET-Flaschen, Plastiktüten
Mesoplastik	5–25 mm	Zerfallsprodukte von Makroplastik	Folienreste, Verpackungsfragmente
Mikroplastik	< 5 mm	primär hergestellt oder sekundär durch Abrieb und Fragmentierung	Reifenabrieb, Synthetikfasern, Microbeads
Nanoplastik	< 1 µm	weitere Zerkleinerung; analytisch besonders schwierig	feinste Zersetzungsprodukte

Eine schematische Darstellung, wie Mikroplastik in die Umwelt gelangt, liefert die UMSICHT-Fraunhofer/ÖKOPOP-Studie:

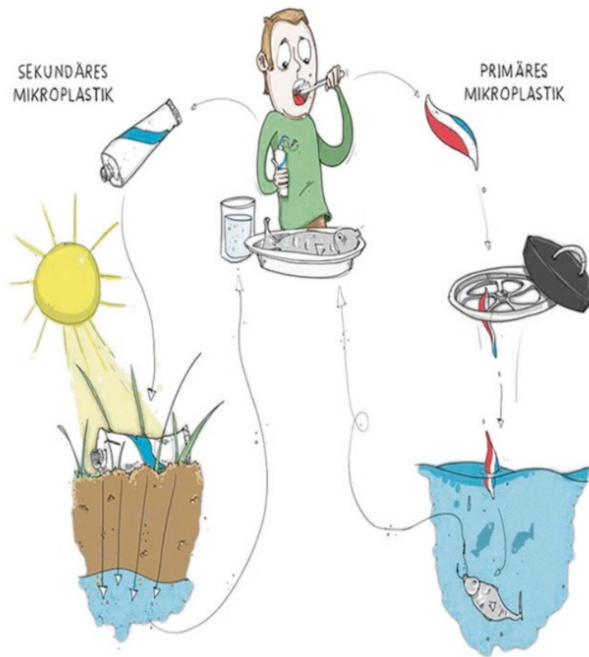


Abbildung 1: Wie kommt Mikroplastik in die Umwelt und in die Nahrungskette (Fraunhofer UMSICHT und ÖKOPOL).

Für die Bewertung im Voralpenland ist Mikroplastik kein isoliertes Thema, sondern ein querschnittliches Problem der Landnutzung, des Verkehrs, der Siedlungsentswässerung und der Stoffeinträge in Böden, Auen, Flüssen und Seen.

## 2 Quellen und Eintragspfade

Als wesentliche Eintragspfade sind Reifenabrieb, synthetische Textilfasern, Kosmetik- und Pflegeprodukte, Kläranlagen, Klärschlamm, Komposte, Gärreste, Agrarkunststoffe, Verpackungsabfälle sowie die Verlagerung über Starkregen, Oberflächenabfluss und Windtransport zu nennen. Mikroplastik ist damit nicht nur als Gewässerproblem, sondern zugleich als Boden-, Auen- und Nahrungskettenproblem einzuordnen [1], [2], [8], [10].

Hinweis: Die globale Kunststoffproduktion und die weiterhin unvollständige Kreislaufschließung bilden den Hintergrund der Problematik; für die regionale Planung sind jedoch vor allem konkrete Emissionspfade und Retentionsräume entscheidend [20].

Die folgende Übersicht bündelt die wichtigsten Quellgruppen. Die Zahlen sind als Größenordnungen aus unterschiedlichen Studien und Berichten zu verstehen, nicht als direkt vergleichbare Messwerte für das Oberland.

Quelle	Orientierende Größenordnung	Bewertung für das Voralpenland
Reifenabrieb	ca. 450.000 t Reifen-bedingte Mikroplastikfreisetzungen in der EU im Jahr 2019 [10]	sehr hohe Relevanz an Straßen, Parkplätzen, Gewerbegebieten und Entwässerungssystemen
Synthetische Textilien	Faserfreisetzung bei Waschprozessen; starke Abhängigkeit von Material und Methode [13]	relevant über Abwasserpfade und Klärschlamm
Kosmetik und Pflegeprodukte	primäres Mikroplastik bzw. polymere Inhaltsstoffe in einzelnen Produktgruppen [1]	eher geringere regionale Mengen, aber vermeidbare Quelle
Klärschlamm, Kompost und Gärreste	Einträge in Böden durch stoffliche Verwertung; Review-Schätzungen nennen für die EU relevante Größenordnungen [14]	hoch relevant, sofern Verwertung auf Flächen stattfindet



Quelle	Orientierende Größenordnung	Bewertung für das Voralpenland
Agrarkunststoffe	Folien, Garne, Saatgut- und Düngemittelumhüllungen [2]	relevant für Intensivkulturen, Silage-, Gemüse- und Sonderkulturflächen
Verpackungen und Makroplastik	fortlaufende Fragmentierung zu sekundärem Mikroplastik [1], [11]	relevant an Gewässern, Ufern, Freizeitflächen und Siedlungsrändern

## 2.1 Reifenabrieb

Die Europäische Umweltagentur weist Reifenabrieb als größte unbeabsichtigte Mikroplastikquelle in der Europäischen Union aus; für 2019 werden etwa 450.000 Tonnen Reifen-bedingter Mikroplastikfreisetzungen genannt [10]. Zahlen für Bayern bzw. das Oberland wurden in den beiden Ausgangsdokumenten nicht belastbar belegt.

Feldmessungen aus dem Straßenumfeld bestätigen, dass Straßenabfluss ein wesentlicher Transportpfad ist: In einer ländlichen Autobahnumgebung wiesen Wasser und Sedimente des Abflusses den höchsten Anteil an Reifenabriebpartikeln auf; das Entwässerungssystem erwies sich als eine der wichtigsten Transportrouten [8]. Für das Voralpenland folgt daraus, dass nicht nur stark befahrene Straßen selbst, sondern auch Straßenseitengräben, Regenrückhaltebecken, Einleitungen und angrenzende Sedimentationsräume als Verdachtsräume zu behandeln sind.

## 2.2 Textilien, Kosmetik, Abwasser und Kläranlagen

Synthetische Textilien setzen bei Nutzung und Waschprozessen Fasern frei. Die im zweiten Ausgangsdokument genannten Einzelzahlen zu Fasern pro Waschgang sind methodisch stark abhängig von Material, Waschprogramm, Alter des Textils und Analytik. Belastbar ist vor allem das Muster: Ein Teil der Fasern gelangt in das Abwasser, ein erheblicher Anteil wird in Kläranlagen zurückgehalten und kann dadurch in den Klärschlamm übergehen [13], [14].

Diese Rückhaltung ist aus Gewässersicht positiv, löst das Problem aber nicht vollständig, wenn Klärschlamm, Komposte oder Gärreste anschließend auf Böden verwertet werden. Aus Vorsorgeperspektive ist deshalb zwischen Entfernung aus dem Abwasserstrom und tatsächlicher Emissionsminderung zu unterscheiden.

Kosmetik- und Pflegeprodukte sind im Vergleich zu Reifenabrieb und diffusen Abriebquellen meist keine größte Mengenquelle, bleiben aber fachlich relevant, weil primäre Partikel bzw. polymere Inhaltsstoffe vermeidbar sind [1].

## 2.3 Landwirtschaft

Für landwirtschaftlich genutzte Böden ist die Lage komplex. Der Faktencheck verweist auf Kunststoffeinträge über Klärschlamm, Komposte, Agrarfolien und weitere landwirtschaftliche Tätigkeiten; für Deutschland werden jährlich mehr als 13.000 Tonnen freigesetzter Kunststoffe in diesem Zusammenhang genannt [1]. Die Fraunhofer-UMSICHT/ÖKOPOL-Studie zur Landwirtschaft in Deutschland bestätigt die Relevanz von Folien, Garnen, Saatgut- und Düngemittelumhüllungen, Klärschlamm und Kompost als Eintragungspfade in Böden [2].

- Eine Review in TrAC – Trends in Analytical Chemistry verweist darauf, dass Klärschlamm ein wesentlicher Rückhalte- und Weitergabepfad für Mikroplastik aus Abwasserbehandlungsanlagen in landwirtschaftliche Böden sein kann [14].
- Reviews berichten außerdem, dass ein großer Teil des Mikroplastiks aus dem Abwasser in den Schlamm übergehen kann; die Spannweiten unterscheiden sich jedoch stark nach Einzugsgebiet, Klärtechnik und Messmethode [14].

Für die Bewertung von Richt- und Grenzwerten ist wichtig, zwischen regulatorischen Fremdstoffgrenzen, analytischen Orientierungswerten und ökotoxikologisch abgeleiteten Wirkungsschwellen zu unterscheiden. Auch dort, wo Grenzwerte für sichtbare Kunststoffe oder Fremdstoffe in Düngemitteln bestehen, lässt sich daraus keine allgemein sichere Mikroplastikkonzentration für Böden ableiten.



- Der Bericht der Bundesanstalt für Gewässerkunde „Microplastics in Soils – Assessment 2022“ wird im zweiten Ausgangsdokument mit einer No-Effect-Concentration (NEC) von etwa 100 kg ha<sup>-1</sup> für Gesamt-Mikroplastik im Oberboden zitiert. Diese Größe ist als laborbasierter Orientierungswert und nicht als regionaler Vorsorgegrenzwert zu verstehen [21].
- Für das Voralpenland sind besonders Flächen relevant, auf denen stoffliche Verwertung, Hangneigung, Erosion, Dränung oder Gewässernähe zusammenfallen.

## 2.4 Niederschlag und atmosphärischer Transport

Ein dritter signifikanter Eintragspfad ist die Atmosphäre. Brahney et al. zeigten für Schutzgebiete im Westen der Vereinigten Staaten, dass Kunststoffe sowohl mit nasser als auch mit trockener Deposition eingetragen werden und dass städtische Zentren sowie Resuspension aus Böden oder Gewässern wesentliche Quellen darstellen [3].

Das bedeutet im Klartext: „es regnet Plastik vom Himmel und wenn es windet, bläst einem Plastik ins Gesicht“.

Veröffentlichte Partikelzahlen für Niederschlag in der Größe von 1-20 Partikel pro Liter Niederschlag sind als orientierende Größenordnungen zu behandeln. Allerdings wird mit zunehmender Plastikproduktion sich dieses Thema vergrößern. Für die regionale Maßnahmenplanung ist entscheidend, dass atmosphärische Deposition eine flächenhafte Hintergrundbelastung erzeugen kann; sie ersetzt aber nicht die Analyse lokaler Eintragsquellen wie Straßenabfluss, Kläranlagen und Auen.

Leider ist die Lage mittlerweile so, dass sich im Bier gleiche Größenordnungen an Plastik wie im Niederschlag befinden. Dass Bier nun mal schnell ins Blut geht ist jeder adulten Person hinreichend bekannt. Weniger bekannt sein dürfte jedoch, dass sich damit auch im Blut Plastik nachweisen lässt [5].

## 2.5 Flüsse und Gewässertransport

Weiterhin tragen Flüsse Kunststoffpartikel und Kunststofffragmente. Fath berichtet für Rhein und Donau Größenordnungen von etwa 200–500 t/a im Rhein und rund 1.400 t/a in der Donau [11]. Diese Angaben sind als berichtete Flussfrachten einzuordnen; sie lassen keine Rückschlüsse bzgl. des auf Bayern oder das Oberland übertragbaren Jahresbeitrags zu.

Für Bayern und die Donau liegen verifizierte Untersuchungen zum Vorkommen von Mikroplastik in Gewässern vor, etwa aus LfU-Forschungsprojekten für bayerische Seen und Flüsse sowie aus einem umfassenden Screening des Donaueinzugsgebiets im Rahmen der Joint Danube Survey 4 [12], [15]. Diese Quellen belegen die Relevanz des Problems, ersetzen aber keine regionalen Frachtberechnungen für einzelne Teileinzugsgebiete.

Die Zusammensetzung des Plastiks in Flüssen wird in den Ausgangsdokumenten vor allem durch Verpackungs- und Konsumkunststoffe geprägt. Als Orientierungsbild werden genannt:

1. Polyethylen (PE): Folien, Verpackungen, Flaschen und Tragetaschen; wegen geringer Dichte und hoher Verbreitung oft gut transportierbar.
2. Polypropylen (PP): Lebensmittelverpackungen, Deckel, Becher und Textilfasern; mechanisch robust und im Alltag stark verbreitet.
3. Polyvinylchlorid (PVC): Rohrleitungen, Kabelisolierungen sowie Bau- und Gartenprodukte; relevant vor allem über Bau-, Siedlungs- und Gartenpfade.
4. Polystyrol (PS): Einwegbecher, Schaumverpackungen und Lebensmittelbehälter; Schaumstoffe fragmentieren mechanisch leicht.
5. Polyester (PET): Getränkeflaschen und Textilfasern; relevant über Verpackungen und Faserfreisetzung.



6. Andere Kunststoffe wie Nylon oder Polyurethan: Spezialanwendungen, Textilien, Beschichtungen und Medizinprodukte.

Die Prozentwerte aus den Ausgangsdokumenten sollten nicht als lokaler Befund interpretiert werden, sondern als Hinweis auf häufige Polymergruppen in Flussstudien [11].



Abbildung 2: Plastikfolie (Polyethylen) aus der Kinzig mit Löchern vom mechanischen Abrieb (nach Fath [11]).

An Mikroplastikoberflächen können sich weitere Problemstoffe, aber auch Biofilme und Mikroorganismen ansiedeln. Dadurch verändert sich die ökologische Bewertung: Die Partikel sind nicht nur inert vorhandene Fragmente, sondern Oberflächen mit chemischen und biologischen Wechselwirkungen.

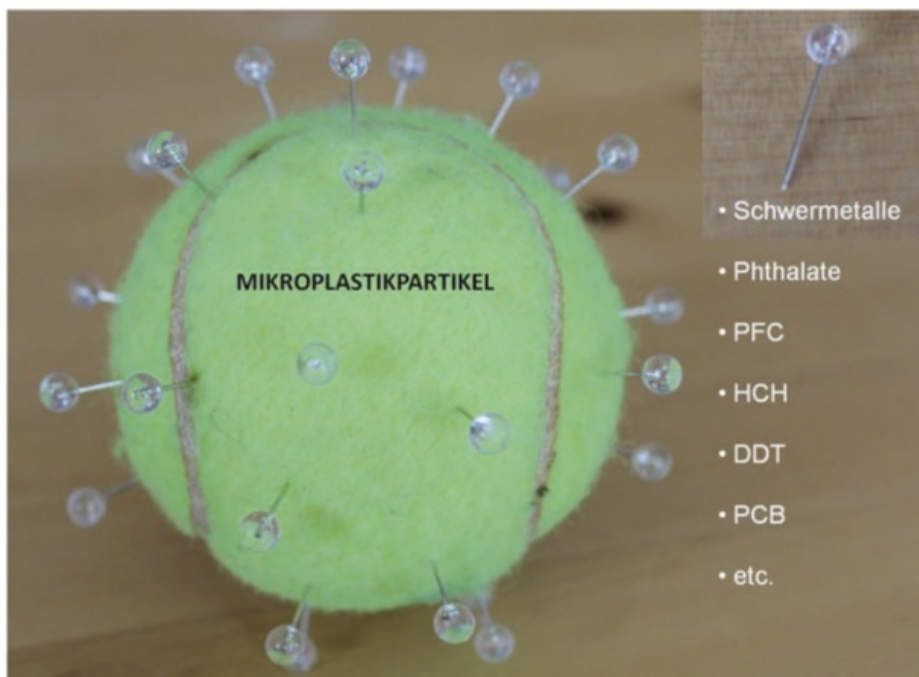


Abbildung 3: Anlagerungen von Schadstoffen an Mikroplastikpartikel (nach Fath [11]).



### 3 Eintrag über Umweltkompartimente: Böden, Auen, Gewässer und Trinkwasser

Der Faktencheck Artenvielfalt beschreibt Mikroplastik als Schadstoff in Böden, Auen, Binnengewässern und Küstengewässern [1]. Für Auen ist besonders wichtig, dass sie Schadstoffe nicht nur filtern, sondern auch anreichern können. In einer alluvialen Rheinaue zeigten Rolf et al., dass Mikroplastik überwiegend fluvial eingetragen wird, dass Überflutungshäufigkeit und Mikrorelief die Verteilung steuern und dass sich Mikroplastik auch in tieferen Bodenschichten akkumuliert [7]. Die Spannweite von 25.502 bis 84.824 Partikeln pro Kilogramm Trockensubstanz macht deutlich, dass Auen nicht nur Durchleitungs-, sondern auch Senkenräume sind [7].

Für Gewässer wird die Eintragungssituation durch Misch- und Regenwasser, Straßenabfluss, Kläranlagenabläufe und Hochwasser geprägt [1], [4], [8]. Die Weltgesundheitsorganisation fasst zusammen, dass Mikroplastik in behandelten Leitungswässern und Flaschenwässern nachgewiesen wurde, bewertet die gegenwärtige Evidenz für direkte Gesundheitsrisiken aber weiterhin als unzureichend; zugleich hebt sie die Relevanz besserer Standardmethoden und der Emissionsminderung an der Quelle hervor [4].

Daraus folgt wissenschaftlich zweierlei: Erstens ist das Vorkommen in Trinkwasser kein Randphänomen, zweitens ist die Risikobewertung noch mit erheblichen Unsicherheiten behaftet. Für das Voralpenland bedeutet dies, dass Mikroplastik nicht nur an Eintragsorten, sondern auch in Rückhalte- und Ablagerungsräumen zu betrachten ist: Straßenseitengräben, Regenrückhalteräume, Uferzonen, Auen, kleine Stillgewässer und Feinsedimentbereiche sind fachlich besonders plausible Hotspots. In Seen und langsam fließenden Abschnitten ist außerdem mit erhöhter Retention feiner Partikel zu rechnen.

### 4 Wirkungen auf Biodiversität und Ökosystemleistungen

Die ökologische Relevanz von Mikroplastik liegt nicht allein in seiner Präsenz, sondern in seinen Wirkungen auf Lebensgemeinschaften, Stoffflüsse und Ökosystemleistungen. Der Faktencheck verweist für Böden darauf, dass Effekte stark von Partikelform, Polymer, Additiven und Bodeneigenschaften abhängen [1]. Lozano et al. zeigten experimentell, dass Form, Polymer und Konzentration des Mikroplastiks die Bodenaggregation und die mikrobielle Aktivität verändern; zugleich reagierte die Pflanzenbiomasse je nach Material unterschiedlich [6]. Diese Ergebnisse sind für die Praxis wichtig, weil sie gegen pauschale Aussagen sprechen: Mikroplastik wirkt nicht als einheitlicher Stressor, sondern material- und standortspezifisch.

Der Faktencheck benennt außerdem negative Wirkungen in Auen und auf Bodenorganismen. Mikroplastik kann in Auenböden verbleiben, von Bodentieren aufgenommen werden und Reproduktionsraten beeinträchtigen [1]. Zudem wird auf globale Metaanalysen verwiesen, in denen eine verringerte mikrobielle Vielfalt im Boden und erhöhte Respirationsraten beschrieben werden [1]. Für Ökosystemleistungen bedeutet dies potenziell Veränderungen von Nährstoffkreisläufen, Bodenstruktur, Kohlenstoffspeicherung und Wasserhaushalt.

Für aquatische Organismen ist die Aufnahme von Mikroplastik in verschiedenen trophischen Ebenen beschrieben, darunter bei Zooplankton, Muscheln, Fischen und Vögeln. Lusher et al. wiesen Mikroplastik in Fischen aus dem Ärmelkanal nach [16]. Mögliche Folgen umfassen mechanische Effekte, eine erhöhte Exposition gegenüber additiv- oder schadstoffgebundenen Stoffen sowie mit abnehmender Partikelgröße eine zunehmende Wahrscheinlichkeit biologischer Aufnahme. Gleichzeitig ist zu berücksichtigen, dass viele toxikologische Studien mit Konzentrationen arbeiten, die über typischen Umweltkonzentrationen liegen [1].

In Tieren und Menschen wurde Mikroplastik in verschiedenen Organen und Kompartimenten nachgewiesen. Leslie et al. berichteten quantifizierbare Polymermassen im menschlichen Blut



gesunder Freiwilliger [5]. Tokunaga et al. wiesen Mikroplastik in den Lungen wildlebender Vögel nach und belegten damit inhalative Exposition auch für freilebende Vogelarten [9]. Beide Arbeiten belegen Exposition; sie belegen jedoch noch nicht automatisch populationsrelevante Schäden. Für eine wissenschaftlich saubere Darstellung ist deshalb zwischen Nachweis, Exposition und belastbar quantifizierter Wirkung zu unterscheiden.

#### 4.1 Schadstoffanlagerung und Additive

Mikroplastik kann hydrophobe Schadstoffe und Additive binden, transportieren und unter bestimmten Bedingungen wieder freisetzen. Das sogenannte „Trojanische-Pferd“-Prinzip wird in diesem Zusammenhang als Metapher für die Zersetzung von Plastik bemüht. Fachlich sinnvoll ist diese Metapher, wenn sie vorsichtig verwendet wird: Bakir et al. modellierten für PE und PVC den Transfer von Phenanthren, DEHP und DDT zu Organismen und bewerteten den Beitrag verschluckter Mikroplastikpartikel in den untersuchten Szenarien häufig als gering gegenüber der Aufnahme über Nahrung und Wasser [17]. Die tatsächliche Nettoexposition hängt deshalb von Polymer, Partikelgröße, Aufenthaltszeit, Umgebungsmedium, Verdauungsbedingungen und Hintergrundbelastung ab [4], [17].

Schadstoff	PE	PVC
Phenanthren	52.000	2.300
DDT	97.000	105.000
DEHP	98.000	12.000

Die Werte zeigen beispielhaft, dass die Bindung hydrophober Stoffe zwischen Polymeren stark variieren kann. Sie sind keine allgemeingültigen Umweltkonzentrationen, sondern Bindungs- bzw. Modellparameter aus der Literatur [17].

Additive wie Phthalate, Flammschutzmittel oder UV-Stabilisatoren, die dem Plastik bei der Produktion zugesetzt werden, sind zusätzlich relevant, weil sie eigene Stoffeigenschaften besitzen. Für die regionale Bewertung sollte deshalb nicht nur die Partikelzahl betrachtet werden, sondern auch Polymerart, Additivprofil, Partikelform und begleitende Schadstoffbelastung [1], [4], [17].

Aus Sicht des Faktencheck Artenvielfalt ist der entscheidende Punkt, dass Verschmutzung, Lebensraumverlust, Nährstoffeinträge und Klimawandel kumulativ wirken [1].

Mikroplastik ist somit Teil eines Belastungsbündels, das Biodiversität und Ökosystemleistungen gemeinsam schwächen kann, insbesondere dort, wo bereits Zerschneidung, Abflussbeschleunigung und stoffliche Vorbelastungen bestehen.

## 5 Evidenzübersicht nach Kompartimenten

Die folgende Tabelle bündelt den relevanten Evidenzkern. Sie ersetzt kein Monitoring vor Ort, schafft aber eine belastbare wissenschaftliche Arbeitsbasis für die Auswahl regionaler Verdachtsräume.

Kompartiment	Befund	Projektrelevanz
Straßenumfeld / Abfluss	Runoff enthielt in einer Autobahnumgebung hohe Anteile an Reifenabriebpartikeln; Entwässerungssysteme fungieren als Haupttransportpfade [8].	Sehr hohe Relevanz für Straßen, Gewerbe- und Siedlungsabfluss.
Abwasser / Klärschlamm	Kläranlagen können Mikroplastik aus dem Wasserstrom zurückhalten; ein Teil wird dadurch in den Schlamm verlagert [14].	Relevant für Klärschlamm, Kompost, Gärreste und Flächenverwertung.
Auenboden	Rheinaue als Senkenraum mit fluvialen Eintrag und Akkumulation auch in tieferen Bodenschichten [7].	Hohe Relevanz für Auen, Ufer und Feinsedimenträume.
Atmosphäre / Niederschlag	Nasse und trockene Deposition transportieren Kunststoffpartikel auch	Relevant für flächenhafte Hintergrundbelastung und



Kompartiment	Befund	Projektrelevanz
	in Schutzgebiete [3].	Niederschlagseinträge.
Gewässer / Flüsse	Bayerische Gewässer und das Donaueinzugsgebiet wurden in Untersuchungen als belastete Systeme beschrieben [12], [15].	Relevant für Sedimente, Rückhalteräume und langsam fließende Abschnitte.
Schadstoffanlagerung	Mikroplastik kann hydrophobe Stoffe binden; Bindungsstärke variiert nach Polymer und Stoff [17].	Relevant für chemische Bewertung, nicht nur für Partikelzählung.
Biologische Exposition	Nachweise im menschlichen Blut [5], in Vogel-Lungen [9] und in Fischen [16].	Belegt Exposition von Mensch und Tier, aber nicht automatisch populationsrelevante Wirkung.

## 6 Einordnung der Untersuchungen fürs Oberland

Für die räumliche Interpretation im Voralpenland lassen sich vier diffuse Quell- und Wirkungsbereiche ableiten:

1. Reifenabrieb über Straßen- und Siedlungsabflüsse.
2. Kläranlagen, Mischwasserentlastungen und Einzugsgebiete mit hohem Siedlungsanteil.
3. Auen- und Uferbereiche als Sedimentations- und Retentionsräume.
4. Landwirtschaftlich geprägte Räume mit Kunststoffnutzung, Kompost-, Gärrest- und Klärschlammeinträgen [1], [2], [7], [8], [14].

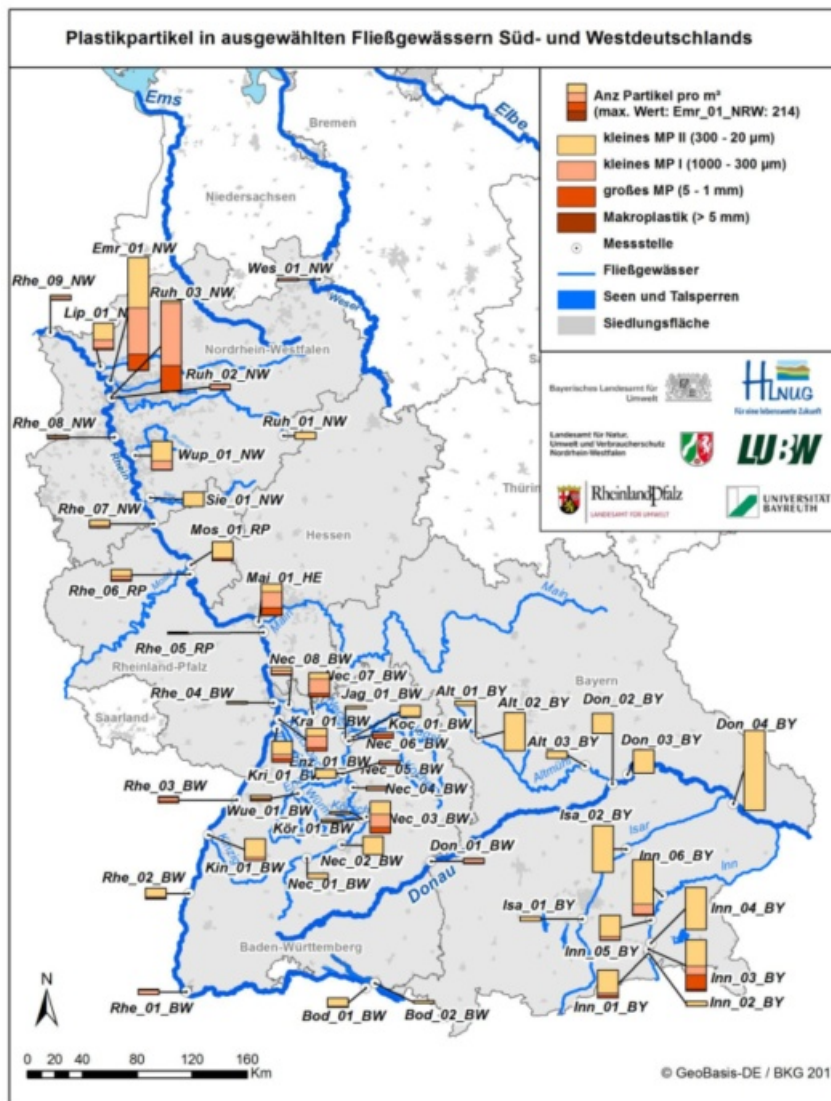
Die Ergebnisse für die Bayerischen Seen [22] sind wie folgt:

	Wasseroberfläche [Partikel/m <sup>3</sup> ]	Wassersäule [Partikel/m <sup>3</sup> ]	Ufersediment [Partikel/m <sup>2</sup> ]	Grundsediment [Partikel/m <sup>2</sup> ]
Ammersee	1-7	10	11.261-129.375	9.511
Chiemsee	4-42	2	99-124.796	9.126
Starnberger See	<1-7	12	113-81.671	2.173

Über alle Seen dominierten kleine Partikel, vor allem PP und PE, meist als Fragmente, gefolgt von Fasern.



Die Ergebnisse des Flussmonitorings [23] ist wie folgt:



**Hinweis:** Aufgrund methodischer Unterschiede in der Probenahme und Auswertung sowie der Bewertung haben sich die EU-Staaten und die Bundesländer darauf verständigt, dass kein weiteres Monitoring durchgeführt wird und die Vermeidung das Ziel ist.

## 7 Monitoring, Unsicherheiten und Forschungsbedarf

Die größte Schwäche des heutigen Wissensstands liegt in der begrenzten Vergleichbarkeit der Messdaten. Der Faktencheck fordert deshalb ausdrücklich, Treiberdaten wie Mikroplastikkontaminationen zusammen mit Biodiversitäts- und Umweltdaten in kompatibler räumlicher Auflösung zu erfassen [1]. Für das Voralpenland bedeutet dies die Kombination aus Stoffmessungen in Sediment, Wasser und Boden mit biologischen Indikatoren in Auen, Gewässerrandzonen und belasteten Böden.

Unsicherheiten ergeben sich aus drei Gründen. Erstens unterscheiden sich Nachweisgrenzen und Methoden zwischen Studien deutlich; Partikelzahl, Massenkonzentration und Polymeridentifikation sind daher nicht ohne Weiteres vergleichbar [4], [5], [8]. Zweitens sind viele Befunde experimentell oder lokal erhoben, während populations- oder landschaftsbezogene Effekte bislang seltener robust



quantifiziert sind [1], [6]. Drittens wirken Mikroplastik, Nährstoffe, Pestizide, Hydromorphologie und Klimafaktoren häufig gleichzeitig, sodass Einzelursachen in Freilanddaten schwer zu trennen sind [1].

Für regionale Folgearbeiten ist deshalb ein gestuftes Design sinnvoll: Zuerst Hotspot-Screening in Straßenabflüssen, Sedimenten und Auenböden; anschließend vertiefte Analysen in biologisch sensiblen Bereichen; schließlich Verknüpfung mit Indikatoren der Bodenfauna, Makrozoobenthos-Gemeinschaften oder weiterer geeigneter Artengruppen.

- Standardisierte Probenahme und Analytik sollten über mehrere Kampagnen hinweg beibehalten werden, damit Trends zwischen Straßenumfeld, Gewässern, Auen und Böden belastbar vergleichbar bleiben.
- Langzeitstudien sind besonders wichtig, weil Exposition nicht automatisch Wirkung bedeutet und populationsrelevante Effekte häufig erst über Reproduktion, Nahrungsketten und kumulative Stressoren sichtbar werden.
- Regulatorisch bleibt offen, welche Konzentrationen in Böden, Sedimenten und Gewässern als sicher gelten können. Vorsorge sollte deshalb nicht auf endgültige Grenzwerte warten.

## 8 Handlungsoptionen und Schlussfolgerung

Für die Praxis folgt aus dem Stand der Forschung zunächst die Priorität der Emissionsminderung an der Quelle. Dazu zählen verkehrsbezogene Maßnahmen zur Reduktion von Reifenabrieb und zur Behandlung von Straßenabflüssen, verbesserte Rückhaltung und Reinigung von Misch- und Regenwasser, die Minimierung vermeidbarer Kunststoffverluste aus Produktion, Logistik und Reinigung sowie ein vorsorgender Umgang mit Agrarkunststoffen, Komposten und Klärschlämmen [1], [2], [4], [8], [10].

Maßnahme	Ziel	Einordnung
Reduktion von Reifenabrieb	weniger Partikel im Straßenabfluss	wirksam über Verkehrsvermeidung, angepasstes Fahrverhalten, Reifenwahl, Straßenreinigung und Abflussbehandlung [8], [10]
Behandlung von Straßen- und Regenwasser	Rückhalt vor Einleitung in Gewässer	Sedimentation, Filtration und Wartung der Rückhalteräume müssen zusammen geplant werden
Kontrolle von Klärschlamm, Kompost und Gärresten	keine Verlagerung vom Abwasser in Böden	Qualitätssicherung, Fremdstoffminimierung und transparente Stoffstromkontrolle [2], [14]
Vermeidung von Einwegkunststoffen	weniger Makroplastik und spätere Fragmentierung	EU-Richtlinie 2019/904 adressiert bestimmte Einwegkunststoffprodukte [18]
Textilfasern reduzieren	weniger Fasereintrag ins Abwasser	Materialwahl, Waschverhalten, Filtertechnik und Abwasserbehandlung gemeinsam betrachten [13]
Monitoring an Eintragsquellen	belastbare regionale Evidenz	Sediment, Boden, Wasser und biologische Indikatoren koppeln [1]

Mikroplastik ist kein singuläres Symbolthema, sondern ein messbarer Bestandteil kumulativer Umweltbelastungen, der in verkehrs-, siedlungs- und gewässergeprägten Räumen systematisch mitgedacht werden sollte. Die lokale Karte ist dafür als hypothesenbasierte Regionalisierung hilfreich, solange sie als Prüfkulisse und nicht als Ersatz für Monitoring verstanden wird.

Hinweis für Prävention: Vermeidung von Einweg-PE/PP-Verpackungen, Ausbau gut funktionierender Sammel- und Recyclingsysteme, Reduktion synthetischer Mikrofasern, keine Kunststoffeinträge in Biotonne und Kompost, sorgsamer Umgang mit Agrarfolien sowie gezielte Behandlung von Straßenabflüssen sind die naheliegenden Ansatzpunkte. Technische Rückhaltung ist wichtig, aber nur dann konsequent, wenn die zurückgehaltenen Sedimente, Filtermaterialien und Schlämme anschließend kontrolliert behandelt werden.



Die zentrale Logik für das Voralpenland lautet daher: Quellen vermeiden, Eintragungspfade unterbrechen, Senkenräume erkennen, Wirkungen mit Biodiversitätsdaten koppeln und Unsicherheiten transparent ausweisen.

## 9 Literatur

- [1] C. Wirth, H. Bruelheide, N. Farwig, J. M. Marx und J. Settele, Hrsg., Faktencheck Artenvielfalt: Bestandsaufnahme und Perspektiven für den Erhalt der biologischen Vielfalt in Deutschland. München: oekom, 2024. doi: 10.14512/9783987263361.
- [2] J. Bertling, T. Zimmermann und L. Rödig, Kunststoffe in der Umwelt: Emissionen in landwirtschaftlich genutzte Böden. Oberhausen/Hamburg: Fraunhofer UMSICHT und ÖKOPOL, 2021. doi: 10.24406/umsicht-n-633611.
- [3] J. Brahney, M. Hallerud, E. Heim, M. Hahnenberger und S. Sukumaran, „Plastic rain in protected areas of the United States,“ *Science*, Bd. 368, Nr. 6496, S. 1257–1260, 2020. doi: 10.1126/science.aaz5819.
- [4] World Health Organization, *Microplastics in drinking-water*. Geneva: WHO, 2019.
- [5] H. A. Leslie, M. J. M. van Velzen, S. H. Brandsma, A. D. Vethaak, J. J. Garcia-Vallejo und M. H. Lamoree, „Discovery and quantification of plastic particle pollution in human blood,“ *Environment International*, Bd. 163, Art.-Nr. 107199, 2022. doi: 10.1016/j.envint.2022.107199.
- [6] Y. M. Lozano, T. Lehnert, L. T. Linck, A. Lehmann und M. C. Rillig, „Microplastic Shape, Polymer Type, and Concentration Affect Soil Properties and Plant Biomass,“ *Frontiers in Plant Science*, Bd. 12, Art.-Nr. 616645, 2021. doi: 10.3389/fpls.2021.616645.
- [7] M. Rolf, H. Laermans, L. Kienzler, C. Pohl, J. N. Möller, C. Laforsch, M. G. J. Löder und C. Bogner, „Flooding frequency and floodplain topography determine abundance of microplastics in an alluvial Rhine soil,“ *Science of The Total Environment*, Bd. 836, Art.-Nr. 155141, 2022. doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.155141.
- [8] I. Järnskog, D. Jaramillo-Vogel, J. Rausch, M. Gustafsson, A.-M. Strömvall und Y. Andersson-Sköld, „Concentrations of tire wear microplastics and other traffic-derived non-exhaust particles in the road environment,“ *Environment International*, Bd. 170, Art.-Nr. 107618, 2022. doi: 10.1016/j.envint.2022.107618.
- [9] Y. Tokunaga, H. Okochi, Y. Tani, Y. Niida, T. Tachibana, K. Saigawa, K. Katayama, S. Moriguchi, T. Kato und S.-i. Hayama, „Airborne microplastics detected in the lungs of wild birds in Japan,“ *Chemosphere*, Bd. 321, Art.-Nr. 138032, 2023. doi: 10.1016/j.chemosphere.2023.138032.
- [10] European Environment Agency, „Microplastics unintentionally released into the environment in the EU,“ 2024. [Online]. Verfügbar: <https://www.eea.europa.eu/en/circularity/sectoral-modules/plastics/microplastics-unintentionally-released-into-the-environment-in-the-eu>.
- [11] A. Fath, *Mikroplastik kompakt: Wissenswertes für alle*. Wiesbaden: Springer Spektrum, 2019. doi: 10.1007/978-3-658-25734-7.
- [12] Bayerisches Landesamt für Umwelt, „Forschungsprojekte Mikroplastik in bayerischen Gewässern sowie Auswirkungen auf Fische und Muscheln,“ 2019. [Online]. Verfügbar: [https://www.lfu.bayern.de/analytik\\_stoffe/mikroplastik/forschungsprojekte/mikroplastik\\_bayerische\\_gewaesser/index.htm](https://www.lfu.bayern.de/analytik_stoffe/mikroplastik/forschungsprojekte/mikroplastik_bayerische_gewaesser/index.htm).
- [13] M. A. Browne, P. Crump, S. J. Niven, E. Teuten, A. Tonkin, T. Galloway und R. Thompson, „Accumulation of microplastic on shorelines worldwide: Sources and sinks,“ *Environmental Science & Technology*, Bd. 45, Nr. 21, S. 9175–9179, 2011. doi: 10.1021/es201811s.
- [14] A. H. Poulsen, H. Hauggaard-Nielsen, W. M. Heinze, G. Lyngsie, T. M. Ramos, M. H. Sandgaard, J. Vollertsen und K. Syberg, „Fate of microplastics in sewage sludge and in agricultural soils,“ *TrAC – Trends in Analytical Chemistry*, Bd. 166, Art.-Nr. 117184, 2023. doi: 10.1016/j.trac.2023.117184.



[15] International Commission for the Protection of the Danube River, „Joint Danube Survey 4: Scientific Report,“ 2022. [Online]. Verfügbar: <https://www.icpdr.org/main/activities-projects/joint-danube-survey-4>.

[16] A. L. Lusher, M. McHugh und R. C. Thompson, „Occurrence of microplastics in the gastrointestinal tract of pelagic and demersal fish from the English Channel,“ *Marine Pollution Bulletin*, Bd. 67, Nr. 1–2, S. 94–99, 2013. doi: 10.1016/j.marpolbul.2012.11.028.

[17] A. Bakir, I. A. O'Connor, S. J. Rowland, A. J. Hendriks und R. C. Thompson, „Relative importance of microplastics as a pathway for the transfer of hydrophobic organic chemicals to marine life,“ *Environmental Pollution*, Bd. 219, S. 56–65, 2016. doi: 10.1016/j.envpol.2016.09.046.

[18] Europäisches Parlament und Rat, „Richtlinie (EU) 2019/904 über die Verringerung der Auswirkungen bestimmter Kunststoffprodukte auf die Umwelt,“ *Amtsblatt der Europäischen Union*, L 155, S. 1–19, 2019.

[19] European Commission, *A European Strategy for Plastics in a Circular Economy*. Brussels: European Commission, 2018.

[20] PlasticsEurope, „Plastics – the Facts 2023,“ 2023. [Online]. Verfügbar: <https://plasticseurope.org>.

[21] Bundesanstalt für Gewässerkunde, „Microplastics in Soils – Assessment 2022,“ 2022. [Online]. Verfügbar: <https://www.bafg.de>.

[22]: LfU Bayern: Mikroplastik in Bayr. Seen, 2019: [https://www.lfu.bayern.de/analytik\\_stoffe/mikroplastik/bayerische\\_seen/index.htm](https://www.lfu.bayern.de/analytik_stoffe/mikroplastik/bayerische_seen/index.htm) (zuletzt abgerufen am 30.04.2026)

[23]: Länderbericht Mikroplastik 2018: [https://www.lfu.bayern.de/analytik\\_stoffe/mikroplastik/laenderbericht\\_2018/index.htm](https://www.lfu.bayern.de/analytik_stoffe/mikroplastik/laenderbericht_2018/index.htm) (zuletzt abgerufen am 30.04.2026)

## 10 Abkürzungen

BfG = Bundesanstalt für Gewässerkunde.

BMBF = Bundesministerium für Bildung und Forschung.

EEA = European Environment Agency, Europäische Umweltagentur.

EU = Europäische Union.

FTIR = Fourier-Transform-Infrarotspektroskopie.

NEC = No Effect Concentration.

PE = Polyethylen.

PET = Polyethylenterephthalat.

PP = Polypropylen.

PVC = Polyvinylchlorid.

WHO = World Health Organization, Weltgesundheitsorganisation.

## 11 Methodische Hinweise

Nachweise zu Mikroplastik sind methodensensitiv. Studien arbeiten je nach Fragestellung mit Partikelzählungen, Massenkonzentrationen oder polymerselektiven Markern. In den hier verwendeten Quellen kommen unter anderem Fourier-Transform-Infrarotspektroskopie (FTIR), Mikro-FTIR, Pyrolyse-Gaschromatographie/Massenspektrometrie und automatisierte Partikelanalysen mittels



Rasterelektronenmikroskopie mit energiedispersiver Röntgenspektroskopie zum Einsatz [4], [5], [7], [8].

Für die regionale Bewertung ist deshalb wichtig, absolute Werte aus verschiedenen Studien nicht unkritisch direkt zu vergleichen. Unterschiedliche Untergrenzen, Probennahmestrategien, Aufbereitungsschritte und Definitionen von Mikroplastik führen zu teils erheblichen Streuungen. Wissenschaftlich belastbar sind vor allem wiederkehrende Muster: Verkehr und Straßenabfluss sind bedeutende Quellen, Auen und Sedimente fungieren als Senken, und die ökologische Wirkung hängt stark von Material, Form und Umweltkompartiment ab [1], [6], [7], [8].

Gerade diese methodische Heterogenität spricht nicht gegen die Relevanz des Problems, sondern für ein regional angepasstes Monitoring. Für das Voralpenland sollten deshalb möglichst dieselben Protokolle über mehrere Messkampagnen hinweg verwendet werden, damit Trendvergleiche zwischen Straßenumfeld, Gewässern, Auen und Böden belastbar bleiben.

Die Zahlen aus den beiden Ausgangsdokumenten wurden deshalb in der kombinierten Fassung nicht als direkt vergleichbare Grenzwerte behandelt, sondern nach Funktion getrennt: Quellen- und Frachtangaben beschreiben Eintragspotenziale, Kompartimentdaten beschreiben Belastungsräume, Expositionsnachweise beschreiben Kontakt, und Wirkungsaussagen benötigen zusätzlich biologische Endpunkte.